ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2019, № 3-4

УДК 550.8.05

Р.М. Камінський[1], Н.Б. Шаховська[1], Л.Г. Савків[2], Я.Ю. Варецький[1], С.В. Саварин[1]
[1]Національний університет «Львівська політехніка», Україна
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013
[2]Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Україна
вул. Наукова, 3-Б, м. Львів, 79060

МЕТОД ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ПЕРВИННИХ ГЕОЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ДАНИХ, ОТРИМАНИХ З РЕЖИМНОЇ ГЕОФІЗИЧНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СТАНЦІЇ

R. Kaminsky, N. Shakhovska, L. Savkiv, Ya. Varetsky, S. Savaryn
[1]Lviv Polytechnic National University, Ukraine
12, Stepana Bandery St., Lviv, 79013
[2]Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine
3-B, Naukova St., Lviv, 79060

METHOD OF PREVIEW PROCESSING OF THE PRIMARY GEOELECTROMAGNETIC DATA RECEIVED FROM A MODIFIED GEOPHYSICAL AUTOMATIC STATION

Подано результати попередньої обробки первинних даних, отриманих з режимної геофізичної автоматичної станції. Як методи обробки, використано описову статистику та моделювання часових рядів. Подання результатів багатовимірними графіками дозволило виявити феномен збігу в першому показнику описової статистики, а в другому – збіг коефіцієнтів моделі для подобових вимірів природного електричного поля. Використання мір центральної тенденції та мір варіації дає не лише основні загальні характеристики отриманої вибірки даних, але подання їх у вигляді багатоелементного графіка дозволяє виявити окремі специфічні точки для послідовності діб місяця. Їх специфічність полягає в тому, що вони вказують на доби, які за цими показниками є найбільш подібними між собою. Використання методів описової статистики та часових рядів є доцільним для обробки первинних даних, оскільки їх результати визначають нові задачі для подальшого аналізу не тільки геофізичних даних, але й інших подібних явищ, таких як кардіологічні сигнали, показники сонячної активності та інші.

Ключові слова: дослідження постійного природного електричного поля, попередня обробка первинних геоелектромагнітних даних, метод природного електричного поля

Preliminary processing of primary geophysical data, automatically transmitted from the regime geophysical station to the daily specific files confirmed the feasibility of using such approaches. The purpose of the research is to focus on the choice of simple methods of primary data processing and the development of appropriate mathematical models of the dynamics. The results of preliminary processing of the primary data obtained from the regime geophysical automatic station are submitted. Descriptive statistics and simulation of time series were used as processing methods. The presentation of the results by multidimensional graphs allowed to reveal the phenomenon of coincidence in the first indicators of descriptive statistics, and in the second, the coincidence of the model's coefficients for the daily measurements of the natural electric field.

Key words: research of constant natural electric field, preliminary processing of primary geoelectromagnetic data, method of natural electric field

Вступ

Для дослідження та вивчення фізичних процесів і явищ, що відбуваються у поверхневих шарах та надрах Землі, а також на її поверхні й в навколоземному просторі, використовують різноманітні геофізичні методи та методики. Такі дослідження організовуються у різний спосіб: це можуть бути систематичні наукові дослідження у формі безперервного моніторингу чи режимних геофізичних спостережень, або ж періодичні вивчення окремих регіонів чи площ. Кожен з таких напрямків дає важливу первинну інформацію для подальшого вивчення цих процесів.

Безперервні геофізичні спостереження ведуться постійно в стаціонарних та тимчасових пунктах спостережень. На сьогоднішній час, збір та реєстрація фізичних полів відбувається переважно автоматично, шляхом створення і поповнення різноманітних баз даних. За даними регулярних та багаторічних спостережень можна оцінювати та аналізувати параметри полів та їх характеристики, вивчати динаміку змін упродовж тривалого періоду часу, контролювати критично-важливі показники. Зазвичай, подібні дослідження забезпечують міжнародні мережі, світові та національні центри, консорціуми, геологічні, екологічні та інші служби, об'єднання, агентства. Згадані організації, окрім інших типів даних, працюють з геомагнітними, сейсмічними, магнітотелуричними спостереженнями, формують відповідні архіви, подають візуальне представлення таких даних у режимі online і, крім того, надають спеціальний або безпосередній доступ до них.

Однак, поряд із таким масштабним вивченням світового рівня геофізичної інформації значний інтерес у царині геофізики мають і локальні дослідження окремих регіонів чи окремих ділянок земної поверхні. Такі локальні дослідження корисні тим, що дозволяють глибше, точніше і детальніше вивчати конкретний регіон, досліджувати локальні зміни чи особливості, характерні саме для цієї області. Окрім цього, такі відомості можуть слугувати важливою допоміжною, додатковою інформацією для обробки та аналізу глобальних геофізичних даних.

Постановка проблеми та формулювання мети статті

Переважно, автоматичні стаціонарні пункти спостережень геофізичних даних представляють собою структури, утворені набором спеціальних сенсорів (давачів), реєструючої апаратури та засобів передачі інформації в пункти призначення. Отримані дані кодуються відповідним чином і передаються в режимі, практично, реального часу у відповідні організації для обробки та збереження. Особливістю таких даних є те, що збір таких даних триває вже досить багато часу, причому вимірювання значень геофізичних параметрів здійснюються постійно і через досить короткі проміжки часу, наприклад, у даному випадку через кожні 5 хв. протягом години, доби, місяця, року, і так з року в рік. Очевидно, що такі обсяги даних потребують спеціальних методів, математичного, програмного та комп'ютерного забезпечення.

Метою дослідження є орієнтація на вибір простих методів первинної обробки даних та розробка відповідних математичних моделей динаміки їх розвитку в сенсі створення спеціального вебсайту для відповідних служб та наукових дослідників.

Аналіз літературних джерел

Проведений аналіз літературних джерел свідчить, що багато сайтів та організацій світового рівня і глобального масштабу давно працюють, аналізують і представляють результати геофізичних спостережень у реальному масштабі часу: Міжнародна мережа геомагнітних обсерваторій «INTERMAGNET» [1,2], Національні центри екологічної інформації «NCEI», м. Ашвілл, Північна Кароліна, США [3,4], Міжнародний консорціум сейсмологічних інститутів «IRIS», США [5,6], United States Geological Survey «USGS» [7]. Велика увага надається сейсмологічним даним як у нас в Україні, так і за кордоном [5,6,8-12,13,14]. Проте, локальні електромагнітні спостереження й питання обробки такого типу даних регіонального характеру на сьогодні висвітлені вкрай мало. Цікавою з цього приводу є робота [15], де порушуються питання організації геоелектричного моніторингу в Національній сонячній обсерваторії зі штаб-квартирою в Боулдері Геологічної служби США. Прикладом статистичного аналізу та обробки даних мережі атмосферних вимірювань є робота [16]. Подібною за характером подання подобових даних та їх обробки є робота [17], яка присвячена аналізу динаміки продажу нафти, використовуючи показники середньої ціни, інтервалу значень ціни, обсягу продаж. Крім того, також проводиться аналіз та моделювання тренду подобового часо-

вого ряду, а візуалізація закономірностей представлена графічно.

Виклад основного матеріалу

Характерні особливості постійних локальних електромагнітних досліджень можна розглянути на прикладі РГС «Нижнє Селище» (Закарпатська область, Хустський район, географічні координати: 48.197472° пн.ш., 23.456028°сх.д.). Станція розташована на території Закарпатської сейсмоактивної зони, тому, окрім інших геофізичних вимірювань, на станції ведуться неперервні електромагнітні спостереження.

Для досліджень використовується метод природного електричного поля (ПЕП), суть якого полягає у визначенні параметрів ПЕП у двох взаємно перпендикулярних напрямках: північ-південь (Пн-Пд), захід-схід (Зх-Сх). Для цього на території режимної геофізичної станції розгорнута відповідна вимірювальна установка. Вона складається з двох пар електродів, що розташовані строго за напрямком Пн-Пд, Зх-Сх. Електроди кожної пари зафіксовані на певній відстані, а саме: електроди напрямку Пн-Пд знаходяться на відстані 60 м один від одного, Зх-Сх – 80 м.

Слід також зазначити, що установка є стаціонарною, забезпечує вимірювання ПЕП у двох напрямках, реєстрація інформаційних сигналів відбувається за єдиною методикою з використанням незмінного складу апаратури. Схема установки зображена на рис. 1, принцип роботи такий: дві пари електродів постійно вимірюють аналогові значення канальних напруг К1, К2, що відповідають різниці потенціалів Е1, Е2 на електродах напрямку Пн-Пд (Е1), Зх-Сх (Е2). У подальшому ці сигнали через аналого-цифрові перетворювачі перетворюються у цифрові.

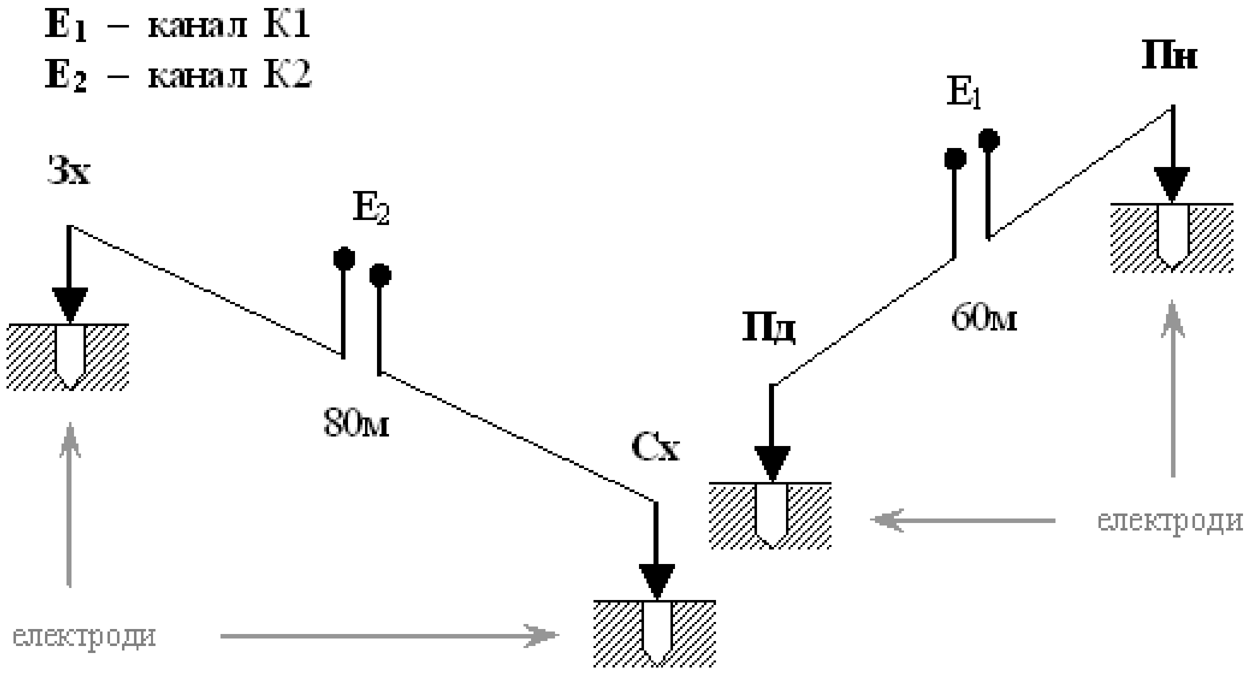


Рис. 1. Схема вимірювальної установки для постійних досліджень ПЕП на РГС «Нижнє Селище»

Отриманий файл даних містить таку інформацію. В комірці А2 вказана дата проведення вимірів, тобто, яка доба, в комірці В2 – назва станції, в комірках А3, В3 і С3 – специфічна технічна інформація, в стовпчику А, починаючи з комірки А4, подаються значення годин і хвилин з 5-хвилинним інтервалом. У стовпчику В, починаючи з комірки В4, вказується число місяця 19 липня й у наступних 12 клітинках, починаючи з В5, з інтервалом у 5 хвилин, подаються значення електричного

поля з першого каналу – К1. У комірці B17 знову вказано число місяця 19 липня й далі 12 значень електричного поля, виміряних з 5-хвилинним інтервалом, і так до закінчення доби, причому останній відлік відповідає 23 годині 55 хвилин. У комірці C4 наведене значення температури, яке слід читати як 23,68 ºС, а починаючи з комірки C5, надаються значення електричного поля через кожні 5 хвилин з другого каналу – К2. У комірці C17 наводиться знову значення температури й наступні 12 клітинок – це значення електричного поля другого каналу.

Хоча така форма є зрозумілою для фахівців, проте вона є досить незручною навіть для попередньої обробки, оскільки потребує додаткового перетворення в стандартні формати. Іншими словами, потрібно виключити неінформативні показники (години, дати й температури) й створити для них відповідне подання, наприклад, у формі окремих стовпців, певних міток тощо.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	The original data from hardware								
2	19.07.2017	NSEL		45	k0716	-4470	20	k0818	-4346
3	6767	17	-4.72	50	k0693	-4470	25	k0756	-4430
4	0:00	19	2368	55	k0739	-4457	30	k0785	-4372
5	0	k1017	-4105	12:00	19	2394	35	k0782	-4278
6	5	k1051	-4124	0	k0762	-4464	40	k0685	-4370
7	10	k1082	-4087	5	k0766	-4505	45	k0748	-4393
8	15	k1115	-4081	10	k0697	-4610	50	k0821	-4333
9	20	k1109	-4109	15	k0722	-4436	55	k0844	-4371
10	25	k1148	-4036	20	k0704	-4494	23:00	19	2462
11	30	k1119	-4083	25	k0571	-4459	0	k0827	-3480
12	35	k1136	-4060	30	k0657	-4483	5	k0861	-4339
13	40	k1127	-4114	35	k0510	-4454	10	k0830	-4337
14	45	k1126	-4084	40	k0581	-4503	15	k0899	-4300
15	50	k1113	-4099	45	k0639	-4448	20	k0812	-4349
16	55	k1179	-4036	50	k0535	-4476	25	k0884	-4329
17	1:00	19	2351	55	k0523	-4526	30	k0850	-4336
18	0	k1209	-4023	13:00	19	2400	35	k0877	-4301
19	5	k1204	-4043	0	k0582	-4530	40	k0919	-430
20	10	k1193	-4052	5	k0588	-4545	45	k0913	-4313
21	15	k1154	-390	10	k0586	-4508	50	k0900	-4312
22	...	...	...	...	...	...	55	k0872	-4322

Рис. 2. Файл за 19.07.2017 року з оригінальними (первинними) даними природного електричного поля, що надійшов на сервер з режимної геофізичної станції «Нижнє Селище»

Підготовка даних для інтерпретації

Отримані дані мають надзвичайно великий обсяг, що створює значні труднощі для їх обробки. Лише протягом доби вибірка містить 288 варіантів, що є достатнім для репрезентативного статистичного дослідження. Якщо розглядати дані за місяць (30 днів), то обсяг вибірки становитиме 8640 значень варіантів, а за рік (365 днів) – 103680 значень. Очевидно, аналіз таких даних варто здійснювати, використовуючи більш короткі інтервали часу спостережень і загальний висновок робити на підставі отриманих результатів, наприклад, у межах доби, місяця. Тоді, зіставляючи подобові дані, отримуємо ситуацію протягом місяця, а зіставляючи щомісячні дані, отримуємо ситуацію протягом року і т.д.

Другим моментом є те, що дані цих спостережень, фактично, є неперервно-дискретним випадковим процесом або, іншими словами, їх можна віднести до категорії нестаціонарних еквідистантних часових рядів. У цьому випадку, обробка такого часового ряду потребує побудови математичної моделі, яка має характеризувати

його загальну тенденцію та відповідні параметри його структури. Статистичну експрес-обробку отриманих електромагнітних даних пропонується розділити на кілька етапів.

Етап 1. Подання подобової динаміки показників описової статистики у вигляді загального графіка місячної тривалості.

Етап 2. Моделювання подобової динаміки розвитку процесу з обґрунтуванням вибору математичної моделі.

Етап 3. Визначення ролі динаміки коефіцієнтів моделі, апроксимуючої добовий тренд, шляхом виявлення збігів моделей у різних точках досліджуваного процесу.

Таким чином, у результаті цілодобової роботи стаціонарного пункту постійних вимірювань електричного поля, отримують набір певним чином представлених даних електричної складової геофізичних показників для цього місця локалізації.

Визначення показників описової статистики

Нехай отримані геофізичні дані представляють значення динаміки показників постійного електричного поля, тобто вибірка $X = \{x : x_1, x_2, \ldots , x_n \ \& \ \mathrm{n} = 288\}$ характеризує його значення протягом доби. Найбільш поширеними в даному випадку методами попередньої обробки даних є методи визначення показників описової статистики. Ці показники описують і подають основні статистичні властивості даних. Вони дозволяють узагальнювати первинні результати і використовуються для розв'язання таких двох задач: показати *загальне* в характері сукупності даних; показати *в чому* і *наскільки* дані різняться між собою. Для вирішення першої задачі нами використано показники центральної тенденції – середнє арифметичне, медіана, мода, а для вирішення другої – показники варіації, в яку включено середньоквадратичне відхилення, розмах (інтервал). Показник дисперсії не використовувався, оскільки він є квадратом середньоквадратичного відхилення. Крім того, замість показника дисперсії використано коефіцієнт варіації. Його функція в цьому дослідженні – це визначення мінливості досліджуваного показника – значення постійного електричного поля як відношення середньоквадратичного відхилення до середнього арифметичного.

Дані, отримані протягом однієї доби, мають вигляд, зображений у таблиці 1.

Таблиця 1. 5-хвилинні значення природного електричного поля за добу

№ з/п	Години: хвилини	Значення на 19.07.17	№ з/п	Години: хвилини	Значення на 19.07.17	№ з/п	Години: хвилини	Значення на 19.07.17
1	0:00	110,17	21	1:40	112	…	…	…
2	0:05	110,51	22	1:45	111,65	274	22:45	107,48
3	0:10	110,82	23	1:50	112,42	275	22:50	108,21
4	0:15	111,15	24	1:55	112,57	276	22:55	108,44
5	0:20	111,09	25	2:00	112,22	277	23:00	108,27
6	0:25	111,48	26	2:05	112,62	278	23:05	108,61
7	0:30	111,19	27	2:10	112,78	279	23:10	108,3
8	0:35	111,36	28	2:15	112,96	280	23:15	108,99
9	0:40	111,27	29	2:20	112,56	281	23:20	108,12
10	0:45	111,26	30	2:25	112,37	282	23:25	108,84
11	0:50	111,13	31	2:30	112,84	283	23:30	108,5
12	0:55	111,79	32	2:35	112,87	284	23:35	108,77
13	1:00	112,09	33	2:40	112,84	285	23:40	109,19
14	1:05	112,04	34	2:45	113,08	286	23:45	109,13
15	1:10	111,93	35	2:50	113,16	287	23:50	109
…	…	…	…	…	…	288	23:55	108,72

Враховуючи значний обсяг даних протягом однієї доби, на рис. 3 подано декілька добових графіків даних за порядком їх отримання у часі.

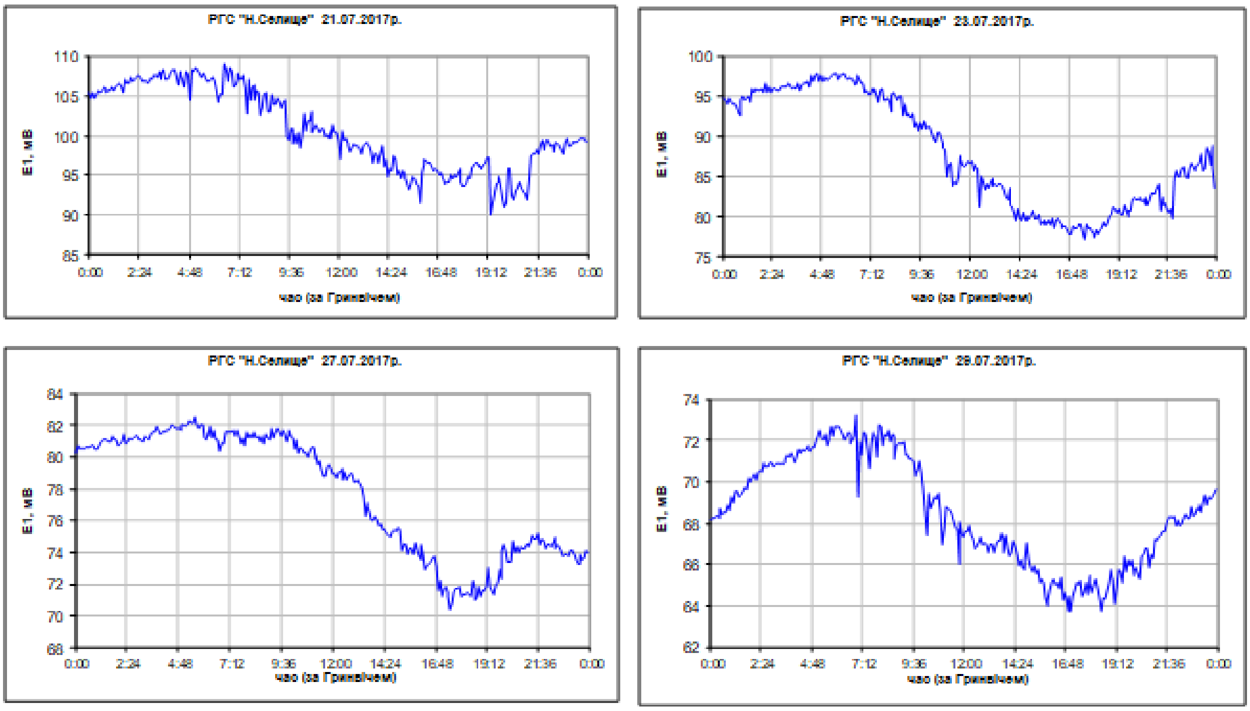


Рис. 3. Подобова динаміка показників природного електричного поля

Практично, форми тенденції зміни величини значень електричного поля є між собою дуже подібними, що свідчить про вплив невідомого на даний момент фактора, який у межах доби впливає одним і тим самим чином на величину електричного поля. Специфічною особливістю його дії є те, що можна досить чітко розмежувати його поведінку, поділивши добу на чотири, приблизно однакові, інтервали, тобто на 6-ти годинні інтервали. З графіка випливає, що в першому інтервалі значення електричного поля монотонно зростає. У наступних двох інтервалах ці значення монотонно зменшуються, а в останньому вони знову зростають з тією ж самою монотонністю. У дослідженні, проведеному методами описової статистики, отримано показники, включаючи і коефіцієнт варіації для місяця липня 2017 року, які наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Показники описової статистики

Дата	**День з/п**	**Показники описової статистики**					
		Міри центральної тенденції			**Міри варіації**		
		Середнє арифметичне	Медіана	Мода	Стандартне відхилення	Розмах (інтервал)	Коефіцієнт варіації
01.07.2017	1	131,32	131,09	138,53	3,66	17,17	0,03
02.07.2017	2	128,48	128,57	128,92	2,32	9,77	0,02
03.07.2017	3	128,75	128,94	129,00	1,34	9,27	0,01
04.07.2017	4	127,89	127,77	130,51	2,03	8,83	0,02
05.07.2017	5	129,55	129,49	130,66	1,40	9,05	0,01
06.07.2017	6	122,58	120,61	126,56	4,16	15,38	0,03

Продовження таблиці 2

07.07.2017	7	119,63	120,30	121,29	2,25	11,61	0,02
08.07.2017	8	120,09	120,34	120,41	2,29	17,55	0,02
09.07.2017	9	117,87	117,40	120,03	3,27	13,37	0,03
10.07.2017	10	114,49	115,33	116,09	3,15	15,22	0,03
11.07.2017	11	109,67	108,68	108,45	4,61	20,57	0,04
12.07.2017	12	112,73	113,01	113,22	1,49	9,77	0,01
13.07.2017	13	112,30	112,39	112,17	1,83	14,58	0,02
14.07.2017	14	110,09	109,82	114,06	3,09	12,31	0,03
15.07.2017	15	110,46	110,78	111,42	1,54	8,27	0,01
16.07.2017	16	108,40	108,93	111,60	2,59	12,09	0,02
17.07.2017	17	107,73	108,11	111,15	2,94	15,55	0,03
18.07.2017	18	107,96	108,66	110,23	2,78	22,89	0,03
19.07.2017	19	108,28	108,03	112,96	3,57	16,18	0,03
20.07.2017	20	103,57	102,37	111,53	5,56	25,62	0,05
21.07.2017	21	100,76	99,62	98,66	5,11	18,96	0,05
22.07.2017	22	94,04	92,56	99,76	6,03	27,07	0,06
23.07.2017	23	88,01	86,45	96,95	6,91	20,58	0,08
24.07.2017	24	79,41	77,05	87,89	7,48	45,59	0,09
25.07.2017	25	75,01	75,63	69,92	3,40	11,28	0,05
26.07.2017	26	75,87	76,11	76,35	2,46	10,81	0,03
27.07.2017	27	77,70	79,02	81,06	3,78	12,16	0,05
28.07.2017	28	70,54	71,87	75,16	4,31	13,35	0,06
29.07.2017	29	68,53	68,40	68,24	2,59	9,54	0,04
30.07.2017	30	65,88	66,38	71,88	5,92	18,26	0,09
31.07.2017	31	65,26	65,56	65,79	4,78	16,93	0,07

Отримані результати характеризують центральну тенденцію та варіацію даних протягом одного місяця. Значення інших показників описової статистики, таких як стандартна помилка, асиметрія, ексцес, мінімум, максимум, сума та кількість у цьому дослідженні не використовувались. Справа в тому, що стандартна помилка тут визначається відношенням $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, де σ, n – середньоквадратичне відхилення та кількість даних відповідно. Оскільки для всіх подобових даних кількість однакова, то в зазначеному випадку цілком достатнім є показник варіації середньоквадратичного відхилення.

Показники асиметрії та ексцесу пов’язані з функцією закону розподілу. Оскільки в цьому дослідженні не стояла задача визначити закон розподілу цих даних, тому й не було підстав уточнювати ці показники. Щодо показників максимуму й мінімуму, то вони на зазначеному етапі досліджень вказують на присутність екстремальних значень. Показник суми – суму значень варіантів за однакової кількості варіантів для кожної доби можна потрактувати як добову потужність сигналу. Показник кількості даних відомий і однаковий для кожної доби.

На рис. 4 зображено подобові графіки. На графіках дуже чітко виражена суттєво нелінійна зміна показників центральної тенденції. Для неї властивою є точка перегину, що означає присутність моди, що й підтверджують дані описової статистики. Важливим візуальним моментом є те, що характер зміни варіантів дуже подібний.

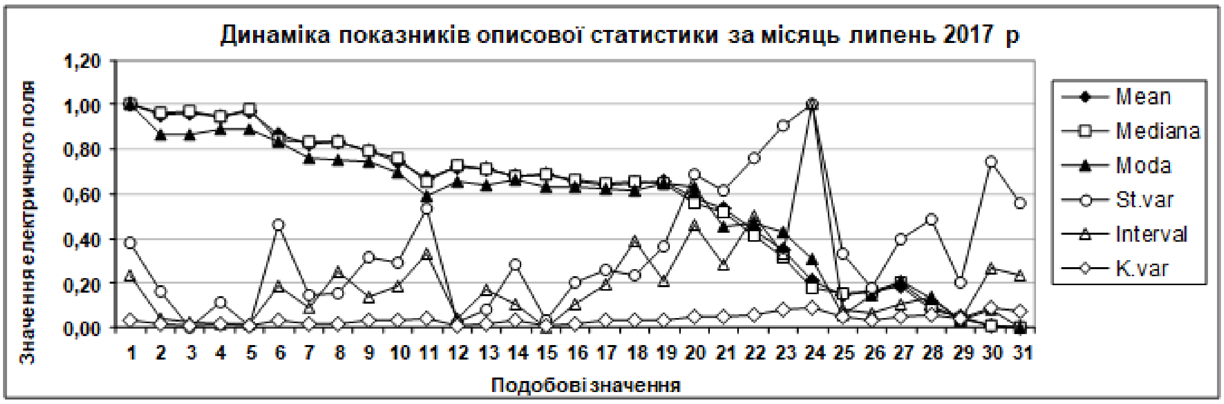


Рис. 4. Динаміка показників описової статистики протягом одного місяця

За результатами подобових показників описової статистики побудовано багатовимірне графічне їх подання. Враховуючи суттєву відмінність значень показників середнього, моди, медіани від показників середньоквадратичного відхилення, розмаху та коефіцієнта варіації, усі значення були приведені до одиничного інтервалу у своїх вибірках за формулою: $\tilde{x} = \dfrac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$, де $\tilde{x} \in [0, 1]$ – приведене до одиничного інтервалу значення x_i. Результати такого нормування подані у вигляді багатовимірного графіка на рис. 4.

Подання результатів описової статистики в такий спосіб, як це зроблено на рис. 4, не є традиційним, проте його використання виявило певні збіги показників описової статистики для деяких діб. Наприклад, для показників центральної тенденції особливими можна вважати доби: 1, 6, 14, 19, 29, хоча більш точно їх можна визначити за табл. 2. Для показників варіації, такими є 3, 5, 12, 15, 29 доба. Поведінку рівнів (абсолютних значень вимірів електричного поля) протягом місяця можна вважати «квазісинхронною», оскільки форма тренду для кожної доби фактично повторюється, проте виняток може включати лише одну-три доби.

Існування таких збігів може бути випадковою подією, але може бути й результатом відсутності будь-яких впливів, тобто можна вважати стан середовища нормальним, а усі інші – як результат впливу різних факторів. Варіантів їх трактування може бути дуже багато, а тому дослідження в цьому напрямку мають певний науковий сенс для отримання наукового результату.

Присутність таких особливостей у даних вимагає нових досліджень даної місцевості та врахування факторів, які завідомо можуть впливати на значення природного електричного поля, наприклад: атмосферні, кліматичні, гравітаційні, сейсмічні, магнітні тощо.

Аналіз трендів подобових часових рядів

Отримані дані можуть бути представлені у вигляді графіка еквідистантного часового ряду, зображеного на рис. 5. Графічне зображення дає загальний вигляд його структури, вказує на характер і вид стаціонарності та коливальну складову. Цей ряд можна формально подати як множину

$$Y(t) = \left\{ y_j : y_j = y(t_j),\ j = 1, 2, \ldots, 288,\ t_j = 5min,\ t_j \in T \right\}$$

впорядкованих у часі випадкових величин і характеризувати (визначити, описати) його як лінійно нестаціонарний, з добовою періодичністю, тривалістю $\Delta t = 288 \cdot 5min = 24hour$, де T – множина 5-хвилинних інтервалів часу. На рис. 5 наведені графіки для діб липня 2017 року.



Рис. 5. Значення постійного електричного поля протягом липня 2017 року

Оскільки форма рівнів часового ряду повторюється, відмінності її поведінки можна оцінити, використовуючи значення коефіцієнтів моделі, якою апроксимують добові рівні. У цьому випадку, візуально, тренд добових значень має точку перегину, яка переважно припадає на середину доби, як відображено на рис. 6.

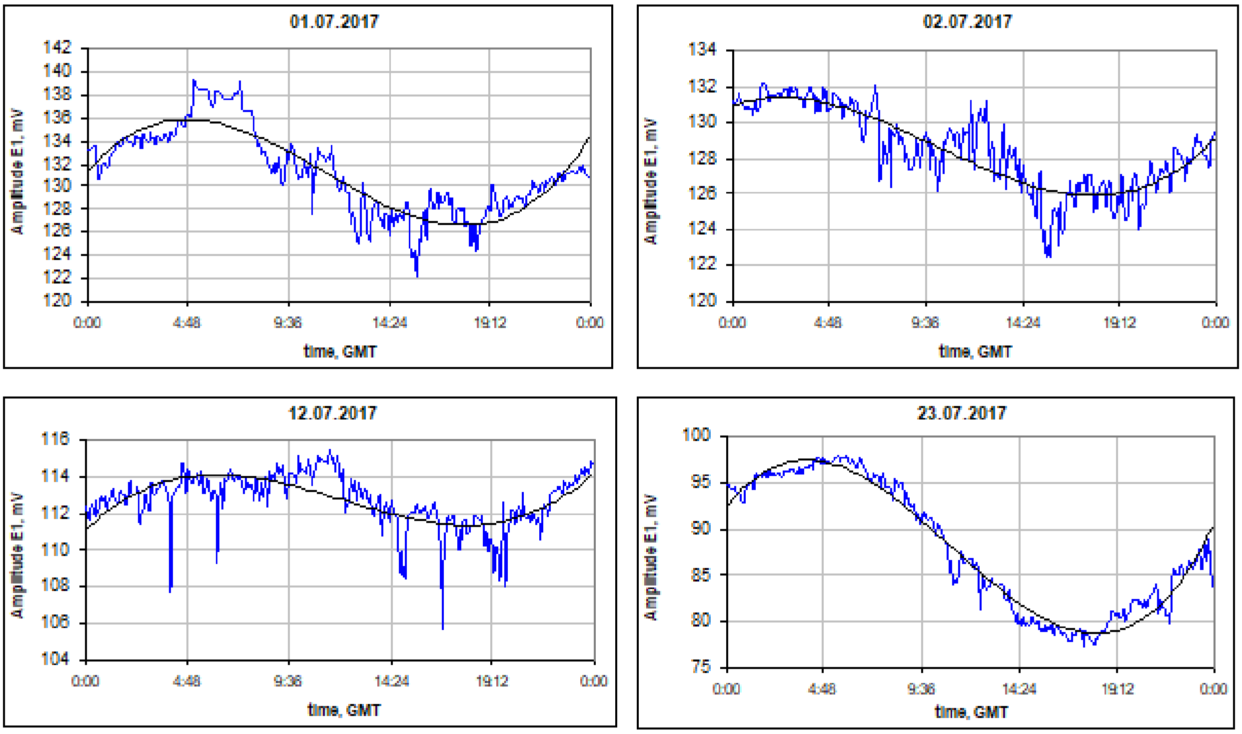


Рис. 6. Тренди подобових даних, апроксимовані поліномами третього ступеня

На перший погляд, такою апроксимуючою функцією $y(t)$ в якості моделі тренду доцільно випробувати поліном третього ступеня:

$$y(t) = a_3 \cdot t^3 + a_2 \cdot t^2 + a_1 \cdot t + a_0 .$$

Саме властивість поліному третього ступеня мати можливість відтворювати залежність, яка має точку перегину, робить його найпростішою функцією для апроксимації цих даних. Основним недоліком поліномів є те, що практично неможливо надати їх коефіцієнтам смислового навантаження

чи фізичного тлумачення. Тим не менше, зроблено спробу такої апроксимації. На рис. 6 наведені графіки апроксимованих трендів подобових даних. У таблиці 3 подані значення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів.

Таблиця 3. Результати апроксимації даних для кожної доби

Доби з/п	**Коефіцієнти поліному**				**R2**	**Середнє Y**	**model**
	a3	**a2**	**a1**	**a0**			
1	112,83	-160,06	50,399	131,27	0,7843	131,32	131,3193
2	41,283	-52,377	9,3432	130,94	0,7488	128,48	128,4771
3	15,403	-13,579	0,0221	129,42	0,3302	128,75	128,7533
4	40,329	-44,379	4,3725	130,41	0,7747	127,89	127,8859
5	30,727	-38,171	9,4932	129,84	0,3885	129,55	129,5422
6	62,384	-76,276	7,748	128,52	0,9198	122,58	122,5756
7	63,741	-79,745	18,979	120,79	0,7487	119,63	119,6289
8	17,52	-7,2516	-7,1141	121,69	0,4313	120,09	120,0914
9	33,85	-39,632	-0,8752	123,05	0,8976	117,87	117,8758
10	64,724	-91,144	25,436	115,97	0,6381	114,49	114,4897
11	70,745	-75,838	0,4634	117,02	0,8674	109,67	109,6669
12	46,178	-69,773	26,774	111,06	0,4236	112,73	112,7288
13	-11,221	31,493	-22,318	115,77	0,3997	112,30	112,3073
14	64,952	-79,563	13,084	113,83	0,9097	110,09	110,092
15	34,995	-40,494	8,162	111,13	0,5412	110,46	110,4578
16	45,503	-49,228	3,8593	111,5	0,6568	108,40	108,3963
17	78,904	-105,7	27,344	109,57	0,8803	107,73	107,734
18	90,163	-123,84	37,578	107,92	0,7505	107,96	107,9636
19	96,442	-130,49	34,345	110,49	0,9241	108,28	108,2761
20	94,054	-102,42	6,0453	111,17	0,7468	103,57	103,5705
21	114,98	-158,75	-158,75	104,72	0,9284	100,76	100,7684
22	124,53	-163,79	35,526	99,73	0,8388	94,04	94,03498
23	178,32	-246,57	66,487	92,37	0,9637	88,01	88,00613
24	185,08	-267,01	80,343	81,971	0,8334	79,41	79,41108
25	32,683	-55,533	15,123	77,775	0,924	75,01	75,00806
26	46,827	-74,739	39,861	69,163	0,8854	75,87	75,86668
27	78,867	-122,61	40,22	78,737	0,9224	77,70	77,69869
28	100,35	-144,68	41,727	72,815	0,9246	70,54	70,5427
29	96,522	-141	48,317	67,248	0,9305	68,53	68,52966
30	180,7	-259,85	81,759	66,446	0,925	65,88	65,87847
31	178,78	-261,8	90,269	62,712	0,9228	65,26	65,26173

Як і у випадку з показниками описової статистики, був використаний підхід – подання значень коефіцієнтів поліному на одному графіку, зображеному на рис. 7. Особливість результатів полягає в тому, що тут також існують специфічні точки, в яких абсолютні значення коефіцієнтів a_j, де $j = 0, 1, 2, 3$, мають дуже близькі значення.



Рис. 7. Зміна коефіцієнтів моделі щодоби

Оскільки другий коефіцієнт a_2 є від'ємним, у результаті цього спостерігається симетричність графіків для коефіцієнтів a_2 і a_3. Якщо подати цей графік не з реальними значеннями, а з абсолютними, тобто представити значення коефіцієнтів a_j як абсолютні значення $|a_j|$, графік матиме вигляд, зображений на рис. 8.

Вже візуальний аналіз графіків на рис. 8 вказує на особливі точки, в яких значення коефіцієнтів моделі збігаються. Такі збіги є нерегулярними й неабсолютними, тобто повний збіг не завжди має місце. Для таких діб як 3, 8, 13 і 25 збіги є досить близькими. Природу цих збігів важко пояснити, використовуючи лише ці дані. Очевидно, що такі збіги, в першу чергу, можна вважати випадковими (як збіг випадкових обставин).

Коефіцієнт a_0 є дуже близьким до середнього арифметичного для даної доби. Його поведінка, як видно з графіка на рис. 7, є досить монотонною і відносно гладкою. Порівняно з іншими місяцями, прослідковується певна коливальність цього показника з періодом у декілька місяців. Цей феномен також потребує відповідних досліджень.



Рис. 8. Динаміка абсолютних значень коефіцієнтів моделей

Подання поведінки коефіцієнтів a_i моделі на одному графіку вказує на те, що a_2 і a_3 змінюються пропорційно, і на деяких етапах їх повторює показник a_1. Отже, для деяких діб існує подібність у структурах апроксимуючих моделей. Оскільки якість апроксимації за коефіцієнтом детермінації $R^2 > 0.89$, можна вважати, що відповідність моделі добовим значенням є достатньою для використання цього підходу – встановлення специфічних точок динаміки природного електричного поля для да-

ної локальної режимної геофізичної автоматичної станції «Нижнє Селище».

Висновки

Проведення попередньої обробки первинних геофізичних даних, автоматично переданих з режимної геофізичної станції щодобовими специфічними файлами, підтвердило доцільність використання таких підходів.

1. Використання мір центральної тенденції та мір варіації дають не лише основні загальні характеристики отриманої вибірки даних, але їх подання у вигляді багатоелементного графіка дозволяє виявити окремі специфічні точки для послідовності діб місяця. Їх специфічність полягає в тому, що вони вказують на доби, які за цими показниками є найбільш подібними між собою. Цей феномен можна трактувати по-різному: відсутність зовнішніх впливів, у ці доби відбувся один і той самий вплив і тому подібне. Цілком зрозуміло, що на усьому проміжку отриманих за весь час роботи станції даних, цей феномен мусить мати якесь пояснення в майбутніх дослідженнях.
2. Побудова подобового часового ряду з отриманих даних показала, що дані в інтервалі доби мають дуже часто повторюваний за формою тренд. Для аналізу цього явища подобові рівні часового ряду були апроксимовані поліномом третього ступеня. Багатовимірний часовий ряд, утворений з коефіцієнтів цього поліному-моделі також показав збіги їх значень для деяких діб. Ці збіги, хоча і не відповідають таким для описової статистики, проте нехтувати ними, не знаючи причин, вважаємо, не варто, оскільки вони несуть якусь інформацію, можливо, дуже важливу.

Таким чином, можна стверджувати, що використання методів описової статистики та часових рядів є доцільним для обробки первинних даних, оскільки їх результати визначають нові задачі для подальшого аналізу не тільки геофізичних даних, але й інших подібних явищ, таких як кардіологічні сигнали, показники сонячної активності та інші.

Література

1. INTERMAGNET. International Real-time Magnetic Observatory Network [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.intermagnet.org http://www.intermagnet.org/index-eng.php (дата звернення 17.07.2018) – Назва з екрана.
2. INTERMAGNET. International Real-time Magnetic Observatory Network [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.intermagnet.org/activitymap/activitymap-eng.php http://www.intermagnet.org/data-donnee/dataplot-eng.php?type=xyz (дата звернення 17.07.2018) – Назва з екрана.
3. The National Geophysical Data Center (NGDC) and its sister data centers merged into the National Centers for Environmental Information (NCEI) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.ngdc.noaa.gov http://www.ngdc.noaa.gov/ngdcinfo/aboutngdc.html (дата звернення 17.07.2018) – Назва з екрана.
4. The National Geophysical Data Center (NGDC) and its sister data centers merged into the National Centers for Environmental Information (NCEI) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/wdc/geomagnetism/data/observatories/definitive ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA (дата звернення 17.07.2018) – Назва з екрана.
5. Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.iris.edu/hq/ http://ds.iris.edu/seismon/ http://www.iris.edu/hq/programs/gsn (дата звернення 17.07.2018) – Назва з екрана.
6. Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.usarray.org/researchers/obs/magnetotelluric http://ds.iris.edu/gmap/_US-MT (дата звернення 17.07.2018) – Назва з екрана.
7. USGS Geomagnetism Program [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://geomag.usgs.gov/ http://geomag.usgs.gov/plots/ (дата звернення 17.07.2018) – Назва з екрана.
8. *Вербицький С.Т.* Система збору, обробки та аналізу сейсмологічних даних Карпатського регіону / С.Т.Вербицький, О.Т.Стецьків, Ю.Т.Вербицький, Н.І.Рожок, А.Ф.Стасюк, Р.С.Пронишин // Геофиз. журн.. – 2009. – 31, № 1. – С. 125–131. – Бібліогр.: с. 131 – укр.
9. *Вербицький С.Т.* Сучасний стан та перспективи розвитку сейсмологічних досліджень у Карпатському регіоні України / С.Т.Вербицький, Ю.Т.Вербицький // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). – С. 35–37. – Бібліогр.: 3 назв. – укр.
10. *Вербицький Ю.Т.* Методичні та прикладні аспекти комплексного банку геофізичної

інформації Карпатського регіону : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук : спец. 04.00.22 «Геофізика» / Ю.Т.Вербицький; НАН України, Ін-т геофізики ім. С.І. Субботіна. – К., 2013. – 20 с. – укр.
11. *Ганієв О.З.* Автоматизована система збору і зберігання сейсмологічних даних : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук : спец. 04.00.22 «Геофізика» / О.З.Ганієв; НАН України. Ін-т геофізики ім. С.І.Субботіна. – К., 2008. – 17 с. – укр.
12. *Ганієв О.З.* Організація сейсмологічного пункту спостережень на острові Зміїний / О.З.Ганієв, К.В.Петренко, Є.Є.Шеремет, Д.В.Вакулович, В.А.Красний // Геофиз. журн.. – 2011. – 33, № 2. – С. 122–128. – Бібліогр.: с. 128 – укр.
13. Міжнародний сейсмологічний центр International Seismological Centre (ISC) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.isc.ac.uk/index.php (дата звернення 18.07.2018) – Назва з екрана.
14. Європейсько-Середземноморський сейсмологічний Центр European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: https://www.emsc-csem.org (дата звернення 18.07.2018) – Назва з екрана.
15. Cletus C.Blum, Timothy C.White, Edward A.Sauter, Duff C.Stewart, Paul A.Bedrosian, and Jeffrey J.Love: Geoelectric monitoring at the Boulder magnetic observatory, Geosci. Instrum. Method Data Syst., 6, 447-452, https://doi.org/10.5194/gi-6-447-2017, 2017.
16. David Fuertes, Carlos Toledano, Ramiro Gonzalez, Alberto Berjon, Benjamin Torres, Victoria E.Cachorro, and Angel M. de Frutos: CAELIS: software for assimilation, management and processing data of an atmospheric measurement network, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 7, 67-81, https://doi.org/10.5194/gi-7-67-2018, 2018.
17. Мазуркин П.М. Посуточная динамика объема и цены нефти brent и влияние на финансовый потенціал трех факторов // Крымский научный вестник, №2 (8), 2016. – С. 205 – 224.
18. Підвірний О.І. До питання збору і передачі первинних геофізичних даних в автоматизованих системах // Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 286–288.

References

1. INTERMAGNET. International Real-time Magnetic Observatory Network [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: http://www.intermagnet.org http://www.intermagnet.org/index-eng.php (data zvernennia 17.07.2018) – Nazva z ekrana.
2. INTERMAGNET. International Real-time Magnetic Observatory Network [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: http://www.intermagnet.org/activitymap/activitymap-eng.php http://www.intermagnet.org/data-donnee/dataplot-eng.php?type=xyz (data zvernennia 17.07.2018) – Nazva z ekrana.
3. The National Geophysical Data Center (NGDC) and its sister data centers merged into the National Centers for Environmental Information (NCEI) [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: http://www.ngdc.noaa.gov http://www.ngdc.noaa.gov/ngdcinfo/aboutngdc.html (data zvernennia 17.07.2018) – Nazva z ekrana.
4. The National Geophysical Data Center (NGDC) and its sister data centers merged into the National Centers for Environmental Information (NCEI) [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/wdc/geomagnetism/data/observatories/definitive ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA (data zvernennia 17.07.2018) – Nazva z ekrana.
5. Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: http://www.iris.edu/hq/ http://ds.iris.edu/seismon/ http://www.iris.edu/hq/programs/gsn (data zvernennia 17.07.2018) – Nazva z ekrana.
6. Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: http://www.usarray.org/researchers/obs/magnetotelluric http://ds.iris.edu/gmap/_US-MT (data zvernennia 17.07.2018) – Nazva z ekrana.
7. USGS Geomagnetism Program [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: http://geomag.usgs.gov/ http://geomag.usgs.gov/plots/ (data zvernennia 17.07.2018) – Nazva z ekrana.
8. Verbytskyi S.T. Systema zboru, obrobky ta analizu seismolohichnykh danykh Karpatskoho rehionu / S.T.Verbytskyi, O.T.Stetskiv, Yu.T.Verbytskyi, N.I.Rozhok, A.F.Stasiuk, R.S.Pronyshyn // Heofyz. zhurn.. – 2009. – 31, № 1. – S. 125–131. – Bibliohr.: s. 131 – ukp.
9. Verbytskyi S.T. Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku seismolohichnykh doslidzhen u Karpatskomu rehioni Ukrainy / S.T.Verbytskyi, Yu.T.Verbytskyi // Heodynamika. – 2011. – № 2(11). – S. 35–37. – Bibliohr.: 3 nazv. – ukp.
10. Verbytskyi Yu.T. Metodychni ta prykladni aspekty kompleksnoho banku heofizychnoi informatsii Karpatskoho rehionu : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. fiz.-mat. nauk : spets. 04.00.22 «Heofizyka» / Yu.T.Verbytskyi; NAN Ukrainy, In-t heofizyky im. S.I. Subbotina. – K., 2013. – 20 c. – ukp.
11. Haniiev O.Z. Avtomatyzovana systema zboru i zberihannia seismolohichnykh danykh : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. fiz.-mat. nauk : spets. 04.00.22 «Heofizyka» / O.Z.Haniiev; NAN Ukrainy. In-t heofizyky im. S.I.Subbotina. – K., 2008. – 17 c. – ukp.
12. Haniiev O.Z. Orhanizatsiia seismolohichnoho punktu sposterezhen na ostrovi Zmiinyi / O.Z.Haniiev, K.V.Petrenko, Ye.Ie.Sheremet, D.V.Vakulovych, V.A.Krasnyi // Heofyz. zhurn..

– 2011. – 33, № 2. – S. 122–128. – Bibliohr.: s. 128 – ukp.

13. Mizhnarodnyi seismolohichnyi tsentr International Seismological Centre (ISC) [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: http://www.isc.ac.uk/index.php (data zvernennia 18.07.2018) – Nazva z ekrana.
14. Ievropeisko-Seredzemnomorskyi seismolohichnyi Tsentr European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC) [Elektronnyi resurs] : [Veb-sait]. – Elektronni dani. – Rezhym dostupu: https://www.emsc-csem.org (data zvernennia 18.07.2018) – Nazva z ekrana.
15. Cletus C.Blum Timothy C.White, Edward A.Sauter, Duff C.Stewart, Paul A.Bedrosian, and Jeffrey J.Love: Geoelectric monitoring at the Boulder magnetic observatory, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 6, 447-452, https://doi.org/10.5194/gi-6-447-2017, 2017.
16. David Fuertes, Carlos Toledano, Ramiro Gonzalez, Alberto Berjon, Benjamin Torres, Victoria E.Cachorro, and Angel M. de Frutos: CAELIS: software for assimilation, management and processing data of an atmospheric measurement network, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 7, 67-81, https://doi.org/10.5194/gi-7-67-2018, 2018.
17. Mazurkyn P.M. Posutochnaia dynamyka obъema y tsenы nefty brent y vlyianye na fynansovыi potentsial trekh faktorov // Krыmskyi nauchnыi vestnyk, №2 (8), 2016. – S. 205 – 224.
18. Pidvirnyi O.I. Do pytannia zboru i peredachi pervynnykh heofizychnykh danykh v avtomatyzovanykh systemakh // Heodynamika. – 2013. – № 2(15). – S. 286–288.

RESUME

Р.М. Камінський, Н.Б. Шаховська, Л.Г. Савків, Я.Ю. Варецький, С.В. Саварин

Preliminary processing of primary geophysical data, automatically transmitted from the regime geophysical station to the daily specific files confirmed the feasibility of using such approaches. The purpose of the research is to focus on the choice of simple methods of primary data processing and the development of appropriate mathematical models of the dynamics. The results of preliminary processing of the primary data obtained from the regime geophysical automatic station are submitted. Descriptive statistics and simulation of time series were used as processing methods. The presentation of the results by multidimensional graphs allowed to reveal the phenomenon of coincidence in the first indicators of descriptive statistics, and in the second, the coincidence of the model's coefficients for the daily measurements of the natural electric field. Using the measures of the central trend and the degree of variation gives not only the basic general characteristics of the received sample of data, but their representation in the form of a multi-element graph allows you to identify specific points for the sequence of days of the month. Their specificity lies in the fact that they point to the days that are the most similar among these indicators. This phenomenon can be interpreted differently: the absence of external influences, in those days there was one and the same influence and the like. It is clear that this phenomenon must have some explanation in future studies over the entire gap obtained during the entire work time of the data station. Construction of the daily time series from the data obtained showed that the data in the interval of time have very often repetitive form of the trend. For the analysis of this phenomenon, the levels of the time series were approximated by the polynomial of the third degree. A multidimensional time series, formed from the coefficients of this polynomial model, also showed the coincidence of their values for several days. These coincidences though do not correspond to such descriptive statistics, but neglect them without knowing the reasons we do not think, because they carry some information, maybe very important. Thus, it can be argued that the use of descriptive statistics and time series methods is appropriate for the processing of primary data, since their results define new tasks for further analysis of not only geophysical data but also other similar phenomena such as cardiac signals, solar activity and others

Надійшла до редакції 04.09.2019

